

⑨ 日本国特許庁 (JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報 (A)

昭58—178675

⑤ Int. Cl.<sup>3</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 昭和58年(1983)10月19日

H 04 N 5/32

6940—5C

A 61 B 6/00

7033—4C

H 04 N 5/14

6940—5C

7/18

7735—5C

H 05 G 1/64

6404—4C

発明の数 2  
審査請求 未請求

(全 6 頁)

⑭ X線撮像装置ボケ修正方法およびその装置

大田原市下石上1385番の1 東京  
芝浦電気株式会社那須工場内

⑯ 特 願 昭57—60544

⑰ 出 願 人 東京芝浦電気株式会社

⑱ 出 願 昭57(1982)4月12日

川崎市幸区堀川町72番地

⑲ 発 明 者 本田道隆

⑳ 代 理 人 弁理士 鈴江武彦 外2名

明 細 書

1. 発明の名称

X線撮像装置のボケ修正方法およびその装置

2. 特許請求の範囲

(1) X線を被写体に照射し被写体を透過したX線を2次元的に検出し該検出情報に基づいて被写体のX線透過像を得るX線撮像装置におけるボケ修正方法において、前記透過X線2次元検出情報について予めシステムにおけるボケ関数より求めたボケ修正用フィルタ関数に基づき2次元の各座標軸毎に一次元フィルタ処理を施してボケ修正を行なうことを特徴とするX線撮像装置のボケ修正方法。

(2) 特許請求の範囲第1項記載のX線撮像装置のボケ修正方法において、2次元座標軸の一方についてハードウェアフィルタを用いてフィルタ処理を行ない、他方についてデジタル演算によるフィルタ処理を施すことを特徴とするX線撮像装置のボケ修正方法。

(3) 特許請求の範囲第1項記載のX線撮像装置のボケ修正方法において、2次元座標軸の一方についてデジタル演算による一次元フィルタ処理を施し、他方について前記デジタル演算と同様のアルゴリズムを用いたデジタル演算による一次元フィルタ処理を施すことを特徴とするX線撮像装置のボケ修正方法。

(4) X線発生装置からX線を発生させ被写体を透過したX線を2次元平面的に検出し該被写体透過X線情報を、特定方向についての一次元走査を該特定方向に直交する方向についての予定変位毎に繰り返すことにより時系列的な電気信号とし、この電気信号に基づいて前記被写体のX線透過像の画像出力を得るX線撮像装置において、前記被写体透過X線情報を一次元走査によりとり出した電気信号が与えられ予めシステムにおけるボケ関数より求めたボケ修正用フィルタ関数に基づく前記一次元走査方向についてのボケを修正する一次元フィルタ処理をして出力するハードウェアフィルタと、このハード

ウェアフィルタの出力をA/D変換するA/D変換器と、このA/D変換器出力が与えられ前記フィルタ関数に基づく前記一次元走査方向と直角方向についてのボケを修正する一次元フィルタ処理を施し前記画像出力に供するディジタル演算装置とを具備したことを特徴とするボケ修正装置。

### 3. 発明の詳細な説明

#### 〔発明の技術分野〕

本発明は、被写体を透過したX線を2次元平面的に検出しその検出情報に基づいて被写体のX線透過像を得るX線撮像装置のボケ修正方法およびその装置に関するものである。

#### 〔発明の技術的背景〕

従来、X線撮影において、焦点によるボケ、撮像管によるボケ等の除去はあまりなされていなかった。また電子計算機を用いた画像処理装置では単に空間周波数についての2次元ハイパスフィルタとしての画像処理が行なわれているにすぎずハイパスフィルタを構成する係数は、

そして、本発明に係る第2の発明は前記方法の実施に直接使用する装置の発明であり、その特徴とするところは、X線発生装置からX線を発生させ被写体を透過したX線を2次元平面的に検出し該被写体透過X線情報を、特定方向についての一次元走査を該特定方向に直交する方向についての予定変位毎に繰り返すことにより時系列的な電気信号とし、この電気信号に基づいて前記被写体のX線透過像の画像出力を得るX線撮像装置において、前記被写体透過X線情報を一次元走査によりとり出した電気信号が与えられ予めシステムにおけるボケ関数より求めたボケ修正用フィルタ関数に基づく前記一次元走査方向についてのボケを修正する一次元フィルタ処理をして出力するハードウェアフィルタと、このハードウェアフィルタの出力をA/D変換するA/D変換器と、このA/D変換器出力が与えられ前記フィルタ関数に基づく前記一次元走査方向と直角方向についてのボケを修正する一次元フィルタ処理を施し前記画像出力に供する

観察者が見易いように適当に決められていた。しかもそのフィルタ処理には多くの演算回数を必要としていた。

#### 〔発明の目的〕

本発明は、X線焦点の強度分布を検討し、その分布および後に続く装置の周波数特性を考慮して理論的なボケ修正を行ない、さらに従来に比し容易にしかも高速にボケ修正を行ない得るX線撮像装置のボケ修正方法およびその装置を提供することを目的としている。

#### 〔発明の概要〕

本発明に係る第1の発明は方法の発明であり、その特徴とするところは、X線を被写体に照射し被写体を透過したX線を2次元的に検出し該検出情報に基づいて被写体のX線透過像を得るX線撮像装置のボケ修正方法において、前記透過X線2次元検出情報について予めシステムにおけるボケ関数より求めたボケ修正用フィルタ関数に基づき2次元の各座標軸毎に1次元フィルタ処理を施してボケ修正を行なうことにある。

ディジタル演算装置とを具備することにある。

#### 〔発明の実施例〕

本発明の第1の実施例を説明する前に本発明の基本原理について説明する。

まずボケの幾何学的性質について説明する。

焦点ボケは2次元面上での空間的ローパスフィルタと考えることができる。第1図に示すようにX線管焦点のアノード上でのX線強度分布を $f(x, y)$ とし、被写体の置かれている面上の一点を通過して検出器面上に投影される焦点影の強度分布を $\tilde{f}(x, y)$ とする。また、被写体の点焦点による影を $g(x, y)$ とする。

さて、焦点の強度分布を考慮した被写体の影は次の式で表わされる。

$$\tilde{g}(x, y) = \iint_{-\infty}^{\infty} g(x-x', y-y') \cdot \tilde{f}(x', y') dx' dy' \dots\dots\dots (1)$$

現在のX線管の焦点はピンホールカメラによる焦点影から $\tilde{f}(x', y') = \tilde{f}_1(x') \tilde{f}_2(y')$ と表わされ得ることを利用すれば(1)式は

$$\tilde{g}(x, y) = \iint_{-\infty}^{\infty} g(x-x', y-y') \cdot \tilde{f}_1(x') \tilde{f}_2(y') dx' dy' \dots (1)'$$

となる。ここで各項のフーリエ変換すなわち

$$G(\omega_1, \omega_2) = \mathcal{F}(g(x, y))$$

$$\tilde{F}_1(\omega_1) = \mathcal{F}(\tilde{f}_1(x))$$

$$\tilde{F}_2(\omega_2) = \mathcal{F}(\tilde{f}_2(y))$$

を用いて(1)'式をフーリエ変換すると

$$\tilde{G}(\omega_1, \omega_2) = G(\omega_1, \omega_2) \cdot \tilde{F}_1(\omega_1) \cdot \tilde{F}_2(\omega_2) \dots (2)$$

と表わされる。

＜(1)'式から(2)式が得られることの証明＞

(1)'の $\tilde{g}(x, y)$ をフーリエ変換すると

$$\begin{aligned} \iint_{-\infty}^{\infty} \tilde{g}(x, y) e^{-j(\omega_1 x + \omega_2 y)} dx dy &= \iint_{-\infty}^{\infty} \iint_{-\infty}^{\infty} g(x-x', y-y') \cdot \tilde{f}_1(x') \cdot \tilde{f}_2(y') e^{-j(\omega_1 x + \omega_2 y)} dx' dy' dx dy \\ &= \iint_{-\infty}^{\infty} \tilde{f}_1(x') \cdot \tilde{f}_2(y') \left( \iint_{-\infty}^{\infty} g(x-x', y-y') e^{-j(\omega_1 x + \omega_2 y)} dx' dy' \right) dx' dy' \\ &= \iint_{-\infty}^{\infty} \tilde{f}_1(x') \cdot \tilde{f}_2(y') \iint_{-\infty}^{\infty} g(x, y) e^{-j(\omega_1 x + \omega_2 y)} e^{-j(\omega_1 x' + \omega_2 y')} dx dy dx' dy' \\ &= \iint_{-\infty}^{\infty} \tilde{f}_1(x') \cdot \tilde{f}_2(y') e^{-j(\omega_1 x' + \omega_2 y')} dx' dy' \cdot G(\omega_1, \omega_2) \\ &= \iint_{-\infty}^{\infty} \tilde{f}_1(x') e^{-j\omega_1 x'} dx' \cdot \iint_{-\infty}^{\infty} \tilde{f}_2(y') e^{-j\omega_2 y'} dy' \cdot G(\omega_1, \omega_2) \\ &= \tilde{F}_1(\omega_1) \cdot \tilde{F}_2(\omega_2) \cdot G(\omega_1, \omega_2) \end{aligned}$$

よって(2)式を得る。

(2)式の意味は焦点によるボケであるローパスフィルタは $(\tilde{F}_1(\omega_1) \cdot \tilde{F}_2(\omega_2))$ の形、すなわち2次元空間上での $x, y$ 方向の周波数成分が独立にフィルタとして働いていることである。従ってボケを修正するためのハイパスフィルタは $x$ 軸方向に $\tilde{F}_1^{-1}(\omega_1)$   $y$ 軸方向に $\tilde{F}_2^{-1}(\omega_2)$ の形のものを作成すれば達成できることになる。

また撮像管のビーム面積によるボケはそれがMTF(modulation transfer function)の形で表現されるとすれば(2)式にさらに $MTF_{CT}(\omega_1)_{(1-1 \text{ or } 2)}$ を乗じたものが結果的に得られるボケの関数である。すなわち

$$\tilde{G}(\omega_1, \omega_2) = G(\omega_1, \omega_2) \cdot \tilde{F}_1(\omega_1) \cdot \tilde{F}_2(\omega_2) \cdot MTF_{CT}(\omega_1)_{(1-1 \text{ or } 2)}$$

となる。

ここで1は第2図に示すように焦点影に対する撮像管のスキヤン方向 $S$ によって定まる。

(以下、1=1として説明する)

なお第2図において、1はX線管球、2はX

線管球1のアノード、3は同カソード、4はX線像を検出するイメージンシフアおよび光学系(以下、「II-光学系」と称する)5はII-光学系4の出力像を撮像する撮像管、6は焦点影である。

出力として取り出される信号は撮像管5の出力電流である。従ってこの電流に対し $\tilde{F}_1^{-1}(\omega_1) \cdot MTF_{CT}^{-1}(\omega_1)$ の特性を持つ一次元フィルタを作用させれば、 $x$ 方向のボケは除去できることになる。(上述で使用した $\omega_1$ は空間周波数であるが、II-光学系4における縮小率を $\alpha$ 、撮像管のスキヤン速度を $v$ とすれば $\omega_1' = v \cdot \omega_1 / \alpha$ の周波数の電流に変換される。)

したがってこのことより $x$ 方向のボケ除去機構はハードウェアフィルタでも構成することができ、その場合ディジタル処理を行なう計算機では $y$ 方向に対するディジタルフィルタを構成するだけでよいことになる。

次にこのような原理に基づく本発明の第1の実施例について説明する。

X線管球1の焦点サイズを例えば1.2mmとし  
ここでは簡単のために単峰特性の強度分布を持  
つとする。

近似的に $f(x, y)$ をガウス分布(正規分  
布)で表わし

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}\right) \quad (\text{但し}\sigma=0.3\text{mmとする})$$

とする。被写体の拡大率を例えば1.5倍とす  
ると、焦点影の拡大率は0.5倍となり

$$\tilde{f}(x, y) = \frac{1}{2\pi(0.5\sigma)^2} \exp\left(-\frac{(x^2+y^2)}{2(0.5\sigma)^2}\right)$$

で表わされる。

従って、

$$\begin{aligned} \tilde{F}_1(\omega) &= \tilde{F}_2(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 0.5\sigma} \cdot \sqrt{\frac{(0.5\sigma)^2}{2}} \cdot 2 \cdot \sqrt{2\pi} \cdot \exp\left(-\frac{(0.5\sigma)^2}{2}\right) \omega^2 \\ &= \exp(-0.011\omega^2) \end{aligned} \quad \dots\dots(3)$$

11・光学系4の縮小率 $\alpha$ を代表値として  
0.043、撮像管5のスキャン速度 $v$ を代表値  
として $2.25 \times 10^5$ (mm/s)とするとフィルタ

従って第4図に示すようにこのような特性を  
有するフィルタをハードウェアとして付加し、  
その後演算装置18より、撮像管ビーム走査方  
向に対し直角の成分のみデコンホリューション、  
あるいはデジタルフィルタ等によるフィルタ  
処理によってボケ修正すれば空間分解能の高い  
画像を高速に得ることができる。第4図におい  
て、9はA/D(アナログ-デジタル)変換器、  
10は表示器等の画像出力装置である。

次に本発明の第2の実施例について説明する。

x方向、y方向のボケが互いに独立な周波数  
特性を持つことを利用すれば、高速演算処理が  
可能である。すなわち一方向の(例えばx方向  
の)ボケに対する演算アルゴリズムを作成して  
おけば、他の一方向(y方向)はそのアルゴリ  
ズムをパラメータだけを変えて使用することが  
できる。

すなわちx方向のみに関してボケを式で表わ  
せば、

の形は(3)式に

$$\omega = \frac{0.043}{2.25 \times 10^5} \cdot \omega'$$

を代入して逆数を取り、

$$\tilde{F}_1^{-1}(\omega) = \exp(4 \times 10^{-16} \cdot \omega'^2)$$

となる。

一方、撮像管5のMTFは近似的に

$$\text{MTF}_{CT}(f) = \exp\left(-\frac{f^2}{4 \times 10^{13}}\right) = \exp(-6.25 \times 10^{-16} \cdot (2\pi f)^2)$$

で表わすことができ、フィルタの形は

$$\text{MTF}_{CT}^{-1}(\omega) = \exp(6.25 \times 10^{-16} \cdot \omega^2)$$

従って両者を合せて考えると、構成すべきフ  
ィルタは

$$\tilde{F}_1^{-1}(\omega) \text{MTF}_{CT}^{-1}(\omega) = \exp(1.25 \times 10^{-15} \omega^2)$$

となる。この特性は第3図に実線で示すような  
ハイパスフィルタとなる。(実際には撮像管5  
プリアンプの帯域幅などで制限され、図の破線  
で示す特性となるであろう。)

$$\tilde{g}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} g(x-x') \tilde{f}(x') dx' \quad \dots\dots(4)$$

となるが、これを近似的に積和で表現すると

$$\tilde{g}_1 = \sum_{j=-a}^a (h \cdot g_{1-j} \cdot f_j) \quad (j=1, 2, \dots, a) \quad \dots\dots(5)$$

となることで $h$ は撮像管5等の検出器面上にお  
けるピクセルの幅にとってもよいし、また測定  
データ $\tilde{g}_1$ を使って補間などを行うことによりも  
っと小さい幅にとることもできる。

1の範囲 $-a \sim a$ は検出器面上での焦点影が  
充分考慮できる範囲に設定すればよい。

(5)式は未知数の数に対して方程式の数が少な  
いが、これは $g_{1-a} \sim g_0$ 、及び $g_{n+1} \sim g_{n+a}$ を近似  
的に $g_1, g_n$ とおくことなどにより解決できる。

また、ペンローズの逆行列から最適解を求  
めてもよい。

ここで述べた(5)式のうち $f_j$ をパラメータとし  
た解法アルゴリズムを作成すれば、これはその  
まゝy方向にも適用できる。すなわち従来1ピ  
クセルに対し $d \times d$ ピクセルのデジタルフィ

ルタを考えていた演算が2dの演算ですむことになりd/2倍の高速化を実現することができる。

なお、本発明は上述し且つ図面に示す実施例にのみ限定されず、その要旨を変更しない範囲内で種々変形して実施することができる。

例えば理論的にボケ関数から求めたボケ修正用フィルタ関数の適用に際し2次元の各座標軸毎に一次元フィルタ処理するということだけでも単純に2次元空間フィルタ処理を施す場合よりはるかに処理が容易になる。

#### 〔発明の効果〕

本発明によれば、従来に比し容易にしかも高速にその上高精度のボケ修正を行ない得るX線撮像装置のボケ修正方法およびその装置を提供することができる。

#### 4. 図面の簡単な説明

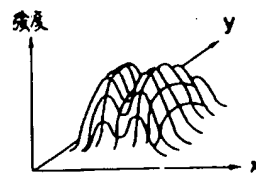
第1図は焦点のアノードでの強度分布を示す図、第2図は撮像管のスキヤン方向(x方向)と焦点影との位置関係を示す図、第3図はボケ除去のためのフィルタの同波数特性を示す図、第

4図は本発明の第1の実施例の構成を示すブロック図である。

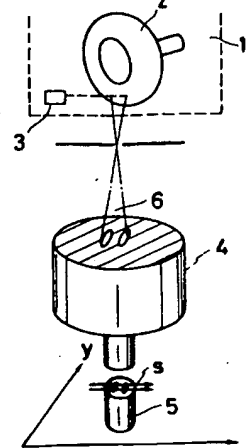
1…X線管球、4…イメージインテンシファイアおよび光学系(II-光学系)、6…撮像管、7…(ハードウェア)フィルタ、8…演算装置、9…A/D変換器。

出願人代理人 弁理士 鈴 江 武 彦

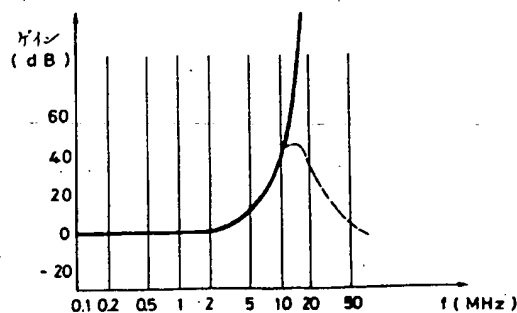
第1図



第2図



第3図



才 4 図

